



PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of

Hideki KATO et al.

Application No.: 09/918,439

Filed: August 1, 2001

Docket No.: 110287

For: MAGNETO-OPTICAL BODY AND OPTICAL ISOLATOR USING THE SAME

CLAIM FOR PRIORITY

Director of the U.S. Patent and Trademark Office
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested for the above-identified patent application and the priority provided in 35 U.S.C. §119 is hereby claimed:

Japanese Patent Application No. 2000-234461 filed August 2, 2000.

In support of this claim, a certified copy of said original foreign application:

 X is filed herewith.

 was filed on in Parent Application No. filed .

 will be filed at a later date.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. §119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

James A. Oliff
Registration No. 27,075

Thomas J. Pardini
Registration No. 30,411

JAO:TJP/kaf

Date: August 15, 2001

OLIFF & BERRIDGE, PLC
P.O. Box 19928
Alexandria, Virginia 22320
Telephone: (703) 836-6400

DEPOSIT ACCOUNT USE AUTHORIZATION Please grant any extension necessary for entry; Charge any fee due to our Deposit Account No. 15-0461
--



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 8月 2日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-234461

出 願 人

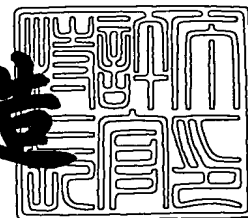
Applicant(s):

ミネベア株式会社

2001年 7月 9日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3064048

【書類名】 特許願

【整理番号】 C8428

【提出日】 平成12年 8月 2日

【あて先】 特許庁長官殿

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県磐田郡浅羽町浅名1743-1 ミネベア株式会社
社 浜松製作所内

【氏名】 加藤 英樹

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県岡崎市伊賀町地藏ヶ入20-8

【氏名】 井上 光輝

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県磐田郡浅羽町浅名1743-1 ミネベア株式会社
社 浜松製作所内

【氏名】 高山 昭夫

【特許出願人】

【識別番号】 000114215

【氏名又は名称】 ミネベア株式会社

【代理人】

【識別番号】 100068618

【弁理士】

【氏名又は名称】 萼 経夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100093193

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 壽夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100104145

【弁理士】

【氏名又は名称】 宮崎 嘉夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100109690

【弁理士】

【氏名又は名称】 小野塚 薫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 018120

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気光学体及びこの磁気光学体を用いた光アイソレータ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 異なる光学特性を有する 2 種類の誘電体薄膜がその厚さに規則性をもって交互に積層された 2 つの誘電体多層膜と、該 2 つの誘電体多層膜の間に設けた磁性体薄膜とを有する磁気光学体において、前記 2 種類の誘電体薄膜は、一方の誘電体薄膜の光屈折率の値が、他方の誘電体薄膜の光屈折率の値と異なることを特徴とする磁気光学体。

【請求項 2】 前記一方の誘電体薄膜の光屈折率が 3 以上であり、他方の誘電体薄膜の光屈折率が 3 未満であることを特徴とする請求項 1 記載の磁気光学体。

【請求項 3】 前記一方の誘電体薄膜は Si であり、他方の誘電体薄膜は SiO_2 であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の磁気光学体。

【請求項 4】 請求項 1 から請求項 3 までのいずれかに記載の磁気光学体を用いることを特徴とする光アイソレータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光ファイバ通信、光計測システム等に用いられる光アイソレータに係り、より詳しくは磁気光学体及びこの磁気光学体を用いる光アイソレータに関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体レーザを光源にする光ファイバ通信システム、特に高速デジタル伝送やアナログ直接変調方式による光システムにおいては、光ファイバ回路中に使用している光コネクタ接続点や光回路部品等からの反射光がレーザに再入射して生じる反射雑音がシステム及びデバイス設計上の大きな問題になる事が多い。この場合、反射再入射光を除去する目的で光アイソレータが使用される。光アイソレータの基本的機能は半導体レーザ（光源）からの出射光を光アイソレータを通し

て無損失で光ファイバ等の伝送路に伝送する一方、光ファイバ等からの反射光を遮断して半導体レーザ（光源）に戻さないようにするものである。

【 0 0 0 3 】

光ファイバ通信システムに用いられる光アイソレータは、入射光の偏光面を 4 5 度回転させるファラデー効果（磁気光学効果）を有し、半導体レーザ等の光源からの出射光を無損失で伝送路に伝送する一方、前記伝送路からの反射光を遮断して前記光源側に戻さないようにしている。

【 0 0 0 4 】

従来の通信用光アイソレータで一般的なものとして、偏光子と、検光子と、ファラデー効果（磁気光学効果）を有し前記偏光子及び検光子の間に設けられる磁気光学体とから構成されるものがある。

図 1 3、図 1 4 に通信用光アイソレータの構造、および、動作原理を示す。図 1 3 の通信用光アイソレータは、偏光子 2 A 及び検光子 2 B と、偏光子 2 A 及び検光子 2 B の間に設けられ光の偏光面を 4 5 度回転させるファラデー回転子（ファラデー素子、磁気光学素子、磁気光学体） 1 と、磁場を印加するために用いるための永久磁石 3 とから大略構成されている。

【 0 0 0 5 】

図 1 4 （I）に示す順方向から入射してくる光 1 0 1 は偏光していない光であるが、偏光子 2 A を通過すると偏光子 2 A の偏光方向の成分だけの光 1 0 2 になる。次に、ファラデー回転子 1 を通過すると偏光方向が 4 5 度回転した光 1 0 3 となる。この 4 5 度回転した光の偏光方向と平行になるように検光子 2 B の偏光方向をあわせると光は損失が最小の状態で検光子 2 B を通過していく。一方、図 1 4 （II）のように、光ファイバなどから反射し逆方向に進んできた光 1 0 5 のうち、検光子 2 B の偏光方向の成分 1 0 6 だけがここを通過し、ファラデー回転子 1 に逆方向から入射する。この光はファラデー効果特有の非相反性により、順方向の場合と同じ向きにさらに 4 5 度回転する。その結果、ファラデー回転子 1 を通過したあとは偏光子の偏光方向と直交した光 1 0 7 となり光は遮断されて光源には戻らない。

【 0 0 0 6 】

このファラデー回転子である磁気光学素子として、イットリウム鉄ガーネット (YIG) やビスマス置換希土類鉄ガーネット (BiYIG) のような比較的大きな固有の磁気光学効果を有する材料を、GGG (ガドリニウム・ガリウム・ガーネット) 単結晶基板上に液相エピタキシャル (LPE) 成長にて厚膜化して得た単結晶厚膜がある。しかしながら、この単結晶厚膜は液相エピタキシャル (LPE) 成長にて形成することから、たとえば光アイソレータとして用いる場合、光アイソレータとして機能するのに必要となる 45 度のファラデー回転角を確保するためには、膜厚が厚くなり、ひいては外形寸法が大きくなり上記要望に適切には応え得るものにはなっていなかった。また、膜厚が厚いことから光吸収損失が大きく (透過率が悪く) なってしまうという問題点があった。

【 0 0 0 7 】

さらに、液相エピタキシャル (LPE) 成長では多くの制御パラメータが使用されており、厚膜を成長させるためには、その製造技術が十分なものとなっていないというのが実情であった。さらに、ガーネット厚膜について偏光角が 45 度回転とするためには、液相エピタキシャル (LPE) により成長させた厚膜を所定の厚さに精密研磨し、さらに AR コートした後、光アイソレータのサイズに切断する。ところで、Bi 置換ガーネットは膜厚が数百 μm であり、きびしい加工精度が要求される。また基板となる GGG 単結晶ウェーハは非常に高価であるという問題も含んでいる。

【 0 0 0 8 】

一方、本願発明者は上記の LPE で作製する磁気光学素子の問題点を考慮し、磁気光学効果の向上のために磁気光学膜の光学的なエンハンスメント効果を利用するように構成した磁気光学体を用い、この磁気光学体と、偏光子及び検光子とを組み合わせる構成した光アイソレータを提案している。

この磁気光学体の構成としては磁性体と誘電体との各層の厚さを不規則にして薄膜状に形成したものや、磁性体及び誘電体はその厚さに規則性をもって交互に積層された 2 つの誘電体多層膜と不規則積層部とを備えたものがある。このとき、偏光子及び検光子としては、方解石のローションプリズムやくさび型のルチル単結晶あるいは偏光ビームスプリッタ (PBS) 等が用いられている。

【 0 0 0 9 】

図 1 5 に本発明者らが提案した光アイソレータに用いる光学的なエンハンスメント効果を利用するように構成した磁気光学体の構造の一例を示す。この磁気光学体 2 0 0 は、中央部にビスマス置換希土類ガーネット(BiYIG)〔磁気光学薄膜 2 0 7〕を用い、その両側にそれぞれ、反射層として、 $(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)$ の積層膜〔誘電体多層膜 2 1 0〕及び $(\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)$ の積層膜〔誘電体多層膜 2 1 1〕を設けて形成された $(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)^n/\text{BiYIG}/(\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)^n$ 構造の多層膜の磁気光学体である。ここでBiYIG 薄膜〔磁気光学薄膜 2 0 7〕はスパッタ等により作製される。

【 0 0 1 0 】

【発明が解決しようとする課題】

図 1 6 に $(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)^{12}/\text{BiYIG}/(\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)^{12}$ 構造の多層膜の磁気光学体の光透過率とファラデー回転角を示す。この図に示すように大きなファラデー回転角を得るためには $(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)$ の積層数を多くしなければならず、この図の磁気光学体では総数で 4 9 層の成膜が必要となる。積層膜の積層が多くなると製造コストが大きくなり、また、プロセスコントロールも難しくなるため製造歩留まりも悪くなる。ひいては、これらの磁気光学体を用いたアイソレータの特性や製造歩留まりが悪くなる。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 記載の発明は、異なる光学特性を有する 2 種類の誘電体薄膜がその厚さに規則性をもって交互に積層された 2 つの誘電体多層膜と、該 2 つの誘電体多層膜の間に設けた磁性体薄膜とを有する磁気光学体において、前記 2 種類の誘電体薄膜は、一方の誘電体薄膜の光屈折率の値が、他方の誘電体薄膜の光屈折率の値と異なることを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

請求項 2 記載の発明は、請求項 1 記載の磁気光学体において、一方の誘電体薄膜の光屈折率が 3 以上であり、他方の誘電体薄膜の光屈折率が 3 未満であることを特徴とする。

請求項 3 記載の発明は、請求項 1 記載の磁気光学体において、前記一方の誘電体薄膜は Si であり、他方の誘電体薄膜は SiO_2 であることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

請求項 4 記載の発明は、光アイソレータであって、請求項 1 から請求項 3 までのいずれかに記載の磁気光学体を用いることを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

【発明の実施の形態】

本発明者は、異なる光学特性を有する 2 種類の誘電体薄膜がその厚さに規則性をもって交互に積層された誘電体多層膜と、該 2 つの誘電体多層膜の間に設けた磁性体薄膜とを有する磁気光学体において、前記 2 種類の誘電体薄膜のうち、一方の誘電体薄膜はその光屈折率を大きくし、かつ、他方の誘電体薄膜はその光屈折率を小さくして、2 種類の誘電体薄膜の屈折率の差を大きくとることにより、この磁気光学体の中心部により強い光の局在化を示すことを見出した。そして、この強い光が局在化することより誘電体多層膜の積層数をあまり多くしなくても大きなファラデー回転角が得られる。

【 0 0 1 5 】

以下に、本発明の実施の形態を図 1 ないし図 1 2 に基づいて説明する。本発明の第 1 実施の形態に係る磁気光学体の構成は、図 1 に大略示されるが、この説明に先だって、磁気光学体を構成する磁性体薄膜及び誘電体多層膜について図 3 ないし図 7 に基づいて説明する。

【 0 0 1 6 】

ここで、磁気光学体を構成する磁性体薄膜を光学膜とし、光が図 3 に示す多層光学薄膜 3 0 に θ_0 で入射したと考える。また、各層に入射する角度を θ_j と考える。そのとき、光透過率 T および光反射率 R を求めるマトリクス法は次のように表せられる〔式 (1) ～式 (1 0)〕。ここで、膜面が半無限面であると仮定できれば、低屈折層 (L 層) からなる多層膜の振幅反射係数 r あるいは透過係数 t はそれぞれ式 (1) 及び式 (2) に示すようになる。

$$r = (\eta_m E_m - H_m) / (\eta_m E_m + H_m) \quad \dots \quad (1)$$

$$t = 2 \eta_m / (\eta_m E_m + H_m) \quad \dots \quad (2)$$

但し、 E_m は電場ベクトル、 H_m は磁場ベクトルである。

【0017】

そして、電場ベクトル E_m 及び磁場ベクトル H_m について、式(3)で示すように設定する。

【数1】

$$\begin{pmatrix} E_m \\ H_m \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} 1 \\ \eta_s \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

【0018】

式(3)で、 M はマトリックス積であり、 $M = M_L M_{L-1} \dots M_j \dots M_2 M_1$ とする。したがって、この薄膜系の j 番目のマトリクス M_j は、式(4)で表せる。

【数2】

$$M_j = \begin{pmatrix} m_{11} & im_{12} \\ im_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \delta_j & \frac{i}{\delta_j} \sin \delta_j \\ in_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{pmatrix} \quad \dots (4)$$

【0019】

式(4)で、 δ_j は、

$$\delta_j = (2\pi/\lambda) (n_j d_j \cos \theta_j) \quad \dots \dots (5)$$

とする。

【0020】

また、上式(5)で、 $n_j d_j \cos \theta_j$ は屈折角 θ_j での j 番目の層での実効光学膜厚を示す。また、その他の式での η は式(6)に示すように媒質、基板および各層の実効屈折率を表すものとする。

【数 3】

$$\eta = \begin{cases} n / \cos \theta(p) \\ n \cos \theta(s) \end{cases} \quad \dots (6)$$

【0 0 2 1】

前記式 (6) では入射面に対して平行 (p) あるいは垂直 (s) な入射光にそれぞれ対応する。また、角度 θ は入射媒質での入射角 θ_0 と次式 (7) で示されるスネルの法則で対応付けられたものになっている。

$$n_m \sin \theta_0 = n_j \sin \theta_j \quad \dots \dots (7)$$

【0 0 2 2】

さらに、光透過率 T 及び光反射率 R は、式 (8) 及び式 (9) のように表せる。

【数 4】

$$T = \left(\frac{n_s}{n_m} \right) |t|^2 \quad \dots (8)$$

n_s : 基板の実効屈折率

n_m : 1 番上の層の実効屈折率

$$R = |r|^2 \quad \dots (9)$$

ここで、光が斜め入射している薄膜の位相厚さ δ_j は、次式 (10) で与えられている。

$$\delta_j = (2\pi / \lambda) (n_j d_j \cos \theta_j) \quad \dots \dots (10)$$

式 (10) から、光学膜厚 $n_j d_j \cos \theta_j$ は入射角の変化に伴い見かけの光学膜厚が変化すると解釈できる。

【0 0 2 3】

磁性体薄膜が理想的なファブリペロー共振器であるとする、磁性体薄膜の実

効屈折率

【数 5】

$$n^*$$

は式 (11) ~ 式 (14) で示される。

【0024】

すなわち、磁性体薄膜が高屈折率の場合、磁性体薄膜の実効屈折率は、式 (11) に示すようになる。

【数 6】

$$n^* = n_H \left(\frac{m - (m-1) \left(\frac{n_L}{n_H} \right)}{(m-1) - (m-1) \left(\frac{n_L}{n_H} \right) + \left(\frac{n_H}{n_L} \right)} \right)^{1/2} \quad \dots (11)$$

n_H : 高屈折率層の屈折率

n_L : 低屈折率層の屈折率

この場合、1 次のフィルタに対しては、磁性体薄膜の実効屈折率は、式 (12) に示すようになる。

【数 7】

$$n^* = (n_H n_L)^{1/2} \quad \dots (12)$$

【0025】

また、磁性体薄膜が低屈折率の場合、磁性体薄膜の実効屈折率は、式（13）に示すようになる。

【数 8】

$$n^* = n_L \left(\frac{m - (m-1) \left(\frac{n_L}{n_H} \right)}{m - m \left(\frac{n_L}{n_H} \right) + \left(\frac{n_L}{n_H} \right)} \right)^{1/2} \quad \dots (13)$$

この場合、1 次のフィルタに対しては、式（14）に示すようになる。

【数 9】

$$n^* = \frac{n_L}{\left[1 - \left(\frac{n_L}{n_H} \right) + \left(\frac{n_L}{n_H} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad \dots (14)$$

【0026】

したがって、1 次のフィルタとして考えた場合の磁性体薄膜の実効屈折率について例示すれば、図4の表1に示すようになる。

【0027】

磁気光学体を構成する磁性体薄膜を光学膜とし、光が図3に示す多層光学薄膜に θ_0 で入射したと考える。その場合、スネルの法則から入射角が小さくなり、 $n_j d_j \cos \theta_j$ より実効光学膜厚が長くなる。したがって、磁性体の膜厚が厚くなれば、それだけファラデー回転角は大きくなる。

【0028】

例えば、低屈折薄膜として SiO_2 (屈折率 $n_t=1.415$)、高屈折膜として赤外光領域で透光性のよい Si ($n_s=3.11$)を用いた場合の磁気光学体を以下に示す。なお、高屈折膜として赤外光領域で透光性の良い Ge を用いてもかまわない。

【0029】

この光アイソレータを構成するものの一例として、中央部にビスマス置換希土類鉄ガーネット $\text{BiYIG}((\text{BiY})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12})$ 、 $\text{BiTbIG}((\text{BiTb})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12})$ 、あるいはセリウム置換希土類鉄ガーネット (CeRIG) 磁気光学薄膜（例えばここでは BiYIG 磁気光学薄膜）を用い、その両側にそれぞれ、反射層として、 (SiO_2/Si) の積層膜〔誘電体多層膜〕及び (Si/SiO_2) の積層膜〔誘電体多層膜〕を設けて形成された $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の多層膜の磁気光学体がある。ここで BiYIG 薄膜はスパッタ等により作製される。

なお、スパッタ法以外〔蒸着法、CVD（化学的気相成長法）など〕でも、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 多層膜の作製は可能である。

【 0 0 3 0 】

前記 (SiO_2/Si) の積層膜及び (Si/SiO_2) の積層膜の SiO_2 の屈折率 M_t は、 Si の屈折率 M_s よりも小さく、それぞれの厚さ D_t 、 D_s は、 $M_s \cdot D_s = M_t \cdot D_t = \lambda / 4$ を満たしている。また、 BiTbIG 薄膜は、 $N_m \cdot D_m = \lambda$ または $\lambda / 2$ （ N_m ： BiYIG の薄膜の屈折率、 D_m ： BiYIG 薄膜の膜厚）としている。

【 0 0 3 1 】

上記構成の磁気光学体は、特定の波長の光を入射すると強い光の局在化が生じ大きな磁気光学効果と高い透過率を示す。なお、この磁気光学体では、固有の光学特性を有する光学薄膜を所定の厚さに積層して、中心部に光が局在化する干渉膜を形成しているため、より強い光の局在化を示すためには $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 及び $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 〔多層膜〕の層構造の乱れがないことが求められる。

【 0 0 3 2 】

なお、光結晶の特性は一般的な電子結晶の電子状態と対比して説明される。光結晶では、電子結晶のエネルギー準位にバンドギャップが存在するように、ある方向に対し光が伝播できない波長域が現れる。この特定波長域はフォトニックバンドギャップと呼ばれ、結晶構造に依存し変化する。電子状態（a）と対比したフォトニックバンドギャップ（b）を図5に示す。

【 0 0 3 3 】

また、結晶の周期的な構造の一部に乱れがあることは、電子結晶の欠陥に相当し、フォトニックバンドギャップ中の特定波長の光が透過するようになる。磁気

光学体の定在波の分布の様子を図6に示す。図6に示す磁気光学体では、中心部分に光が強く局在化しており、この局在化がユニークな透光性と大きな磁気光学効果とをもたらすと言える。また、図7に示すように強い局在化が生じた波長で大きな高い透過率を示すことが判った。

【0034】

例えば、異なる光学特性を有する複数種類の誘電体素材がその厚さに規則性をもって交互に積層された反射層としての2つの誘電体多層膜（例えば SiO_2/Si の積層膜。この場合、例えば SiO_2 の屈折率 M_t は Si の屈折率 M_s よりも小さく、それぞれの厚さ D_t 、 D_s は、 $M_s \cdot D_s = M_t \cdot D_t = \lambda / 4$ を満たす。）と、該2つの誘電体多層膜の間に設ける磁性体膜（例えばその膜厚が λ または $\lambda / 2$ とする）とを有する磁気光学体においては、特定の波長の光を入射すると強い光の局在化が生じ大きな磁気光学効果と高い透過率を示し、特に前記磁性体膜としてファラデー回転角が大きい希土類鉄ガーネットを用いることにより前記磁気光学効果をより大きくできることを本発明者は実験により検証している。

【0035】

ここで、図1に基づいて、本発明の第1実施の形態に係る磁気光学体300について、以下に説明する。この磁気光学体300は、屈折率が異なる2種の誘電体を反射層に用いて構成されている。そして、この磁気光学体300は $1.31 \mu\text{m}$ の共鳴波長を有し、中央層として $(\text{BiY})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ガーネット膜〔以下、適宜、単にBiYIG膜（磁性体薄膜307）という〕が用いられ、その両側にそれぞれ、反射層〔2つの誘電体多層膜310、311〕として、 Si 膜320（一方の誘電体薄膜）と SiO_2 膜321（他方の誘電体薄膜）との n 層の積層膜がそれぞれ用いられている。

【0036】

このような磁気光学体300の反射層（誘電体多層膜310、311）は、中央層（磁性体薄膜307）を中心に対称の膜構成を有しており、各誘電体膜は〔入射光の波長 $\lambda / (4 \times \text{誘電体の屈折率} M)$ 〕の膜厚を有して交互に積層されている。即ち、厚さに規則性を有して積層されている。 SiO_2 膜321の膜厚は〔 $1310 / (4 \times 1.415)$ 〕 $= 231 \text{ nm}$ であり、 Si 膜320の膜厚は〔 13

$10 / (4 \times 3.11) = 105 \text{ nm}$ である。そして、BiYIG 膜 3 0 7 からなる中央層は反射層 (3 1 0, 3 1 1) の規則性から外れた膜厚を有しており、その膜厚は 2 9 8 nm である。ここで、入射光の波長 $\lambda = 1310 \text{ nm}$ 、Si 膜 3 2 0 (一方の誘電体薄膜) の屈折率 $M_s = 3.11$ 、 SiO_2 膜 3 2 1 (他方の誘電体薄膜) の屈折率 $M_t = 1.415$ である。

【 0 0 3 7 】

図 2 に $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の多層膜の磁気光学体について、具体的には、 $n = 3, 4, 5$ の場合における磁気光学体 3 0 0 について、入射光の波長に対する透過率の変化及びファラデー回転角 θ_F を調べた。図 2 は、それぞれ、縦軸が透過率及びファラデー回転角 θ_F を示し、横軸はいずれも入射光の波長 λ を示している。図 2 から明らかなように、波長 λ が 1310 nm の近傍で、透過率及びファラデー回転角 θ_F のピークを有している。

【 0 0 3 8 】

ここで、本実施の形態及び前述した $(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)^{12}/\text{BiYIG}/(\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)^{12}$ 構造の多層膜の磁気光学体に関して、各光透過率及びファラデー回転角を比較する。

【 0 0 3 9 】

本実施の形態の磁気光学体 3 0 0 は、2 種類の誘電体薄膜 [Si 膜 3 2 0 (一方の誘電体薄膜)、 SiO_2 膜 3 2 1 (他方の誘電体薄膜)] の屈折率 (Si 膜 3 2 0 の屈折率 $M_s = 3.11$ 、 SiO_2 膜 3 2 1 の屈折率 $M_t = 1.415$) の差を大きくとることにより、屈折率が相異なる誘電体 (誘電体多層膜 3 1 0, 3 1 1) を反射層に用いており、高い共振 Q (共振程度) を有しているので、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができる。このため、 $n = 3$ で 13 層、 $n = 4$ で 17 層、 $n = 5$ で 21 層と少ない成膜数で大きなファラデー回転角を得ている。

【 0 0 4 0 】

そして、このように大きなファラデー回転角を得る上で、誘電体薄膜の積層数を少なくできることにより、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができる。さらに、

これらの磁気光学体 3 0 0 を用いた光アイソレータの特性や製造歩留まりの向上を図ること出来る。

【 0 0 4 1 】

次に、本発明の実施の形態の磁気光学体及びその製造法を図 8 に基づいて説明する。ガラス等の使用波長で透光性の良好な基板の上に高屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜を形成し（例えば Si 薄膜）、次に低屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜を形成する（例えば SiO_2 薄膜）。この工程を n 回繰返し、次に希土類鉄ガーネット膜（BiYIG 薄膜）を形成する。希土類鉄ガーネット膜はスパッタ直後にはアモルファス層で磁性を持たないため、高温熱処理してガーネットを結晶化させる必要がある。このためアニール処理を行う。さらに、低屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜を形成し（例えば SiO_2 薄膜）、次に高屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜を形成する（例えば Si 薄膜）。この工程を n 回繰返すことにより本発明の $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n/\text{BiYIG}/(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 構造の磁気光学体を形成する。

【 0 0 4 2 】

また、Si 薄膜と SiO_2 薄膜の順を逆にして、基板側から低屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜（たとえば SiO_2 薄膜）を形成し、次に高屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜（例えば Si 薄膜）を形成する $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の磁気光学体も同様である。

【 0 0 4 3 】

しかし、前記希土類鉄ガーネットを用いた磁気光学体の製造に関し、希土類鉄ガーネット膜はスパッタ直後にはアモルファス層で磁性を持たないため、高温熱処理してガーネットを結晶化させる必要がある。一方、誘電体多層膜は、高温熱処理によりその周期構造が乱れて（壊れて）しまう。このため、大きな磁気光学効果を得るために、希土類鉄ガーネットを用いた上記磁気光学体を製造することは、非常に面倒であるというのが実情であった。

この実施の形態では、図 9 に示すように、水冷された基板ホルダ 2 0 1 上にインジウムシート 2 0 2 をセットし、インジウムシート 2 0 2 の上に基板 2 0 3 [例えば石英ガラス] を載置し、基板 2 0 3 の上に集光板としてのグラッシーカーボン 2 0 4 をセットする。

【 0 0 4 4 】

基板 2 0 3 には、図 1 に示す異なる光学特性を有する Si 膜（誘電体素材）及び SiO_2 膜（誘電体素材）をその厚さに規則性をもって交互に積層してなる $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層 3 1 0（二つの誘電多層膜のうちの一方。n：積層数）が積層される。Si 膜（誘電体素材）及び SiO_2 膜（誘電体素材）は赤外光域で透明で、環境安定性が高い材料で形成されている。基板 2 0 3 としては、赤外線導入加熱装置 2 2 0 による BiYIG 薄膜 2 0 7 の結晶化熱処理の際には溶けることがない特性を有するものが望ましい。

【 0 0 4 5 】

そして、この $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層 3 1 0 の上に、BiYIG 薄膜 3 0 7〔希土類鉄ガーネット〕が成膜され、この状態で後述するように赤外線導入加熱装置 2 2 0 により BiYIG 薄膜 3 0 7 の結晶化熱処理が施され、この後、結晶化された BiYIG 薄膜 3 0 7 を含む $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ の上に $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 層 3 1 1（二つの誘電体多層膜のうちの他方）が成膜されて、図 1 に示す $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の磁気光学体 3 0 0 が作製される。磁気光学体 3 0 0 の作製はマルチターゲット RF マグネトロンスパッタ装置により行った。

【 0 0 4 6 】

前記赤外線導入加熱装置 2 2 0 は、図 9 に示すように、赤外線ビームを発生する赤外線発生部 2 2 1 と、赤外線ビームを集光させるグラッシーカーボン 2 0 4 と、基板ホルダー 2 0 1 を冷却する冷却機構 2 2 2 と、加熱中にグラッシーカーボン 2 0 4 の表面に接触して配置され、温度モニターに用いられる熱電対 2 2 3 と、を備えている。

【 0 0 4 7 】

そして、赤外線導入加熱装置 2 2 0 による BiYIG 薄膜 3 0 7 の結晶化熱処理の際には、基板ホルダ 2 0 1 は冷却され、これにより基板 2 0 3 を通して $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層 3 1 0 が冷却される。

一方、前記熱処理時に、赤外線により温度上昇したグラッシーカーボン 2 0 4 により BiYIG 薄膜 3 0 7 のみが加熱され、結晶化される。この場合、赤外線ビームは間欠的に照射する（パルス加熱する）ようにしている。

【 0 0 4 8 】

上述したように $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層 3 1 0 が冷却されていることにより、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層 3 1 0 の Si と SiO_2 の相互拡散が防止される。このため、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層 3 1 0 の周期構造が乱されることがなくなると共に、前記熱処理により BiYIG 薄膜 3 0 7 が結晶化され、有効な磁性を有し、かつ優れた磁気光学特性を有する磁気光学体 3 0 0 が作製されることになる。

【 0 0 4 9 】

この実施の形態では基板 2 0 3 を通して $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層 3 1 0 を冷却する場合を例にしたが、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層 3 1 0 を直接に冷却するように構成してもよい。

赤外線加熱装置 2 2 0 による熱処理中はグラッシーカーボン 2 0 4 表面に熱電対 2 2 3 を接触させ温度モニターを行った。図 1 0 に熱処理パターンを示す。また、このような加熱方法で結晶化熱処理したとき、成膜直後はアモルファス構造であった BiYIG 薄膜 3 0 7 は、熱処理温度 8 5 0 °C で結晶化が進み、また、ファラデー回転角も従来の電気炉で加熱し結晶化させた場合と同様の値を示した。また、BiYIG 薄膜 3 0 7 に面荒れやクラックは全く見られなかった。

【 0 0 5 0 】

一方、同様な加熱方法により $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ を熱処理し、その上に $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ を成膜して作製された $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ の磁気光学体と、比較用として熱処理しない $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の磁気光学体を作製し、それぞれの磁気光学体の透過スペクトルを調べた。

熱処理しない磁気光学体は $\lambda = 1 0 0 0 \sim 1 8 0 0 \text{ nm}$ の波長域にフォトニックバンドギャップが現われ、また、 $\lambda = 1 3 1 0 \text{ nm}$ のところに鋭い波長ピークが現れていた。また、本発明の実施の形態に示す上記の加熱方法で熱処理した磁気光学体も、 $\lambda = 1 0 0 0 \sim 1 8 0 0 \text{ nm}$ の波長域にフォトニックバンドギャップが現われ、また、 $\lambda = 1 3 1 0 \text{ nm}$ のところに鋭い波長ピークが現れていることがわかった。このように、比較とした熱処理しない磁気光学体と本実施の形態の磁気光学体の透過率スペクトルの波形はほとんど変化はなかった。このことは、赤外線導入加熱装置 2 2 0 を用いて赤外線ビームを照射することにより、BiYIG 薄膜 3 0 7 の結晶化をすることができる熱処理条件で、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ の磁気光学体を作製することにより、

$i/\text{SiO}_2)^n$ 構造の多層膜の周期構造がほとんど変化しないことを示している。

【 0 0 5 1 】

また、上記したように、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ を熱処理し、その上に $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ を成膜して作製された上記 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の磁気光学体について、ファラデー回転角を調べた。その結果(図示略)この磁気光学体 3 0 0 は大きなファラデー回転角を有することがわかった。この実施の形態では、赤外線ビームは間欠的に照射する(パルス加熱する)ようにしているので、BiYIG 薄膜 3 0 7 の結晶化をより精度高いものにできる。

【 0 0 5 2 】

また、グラッシーカーボン 2 0 4 により赤外線ビームを集光しており、熱処理を迅速に行うようにしている。なお、このグラッシーカーボン 2 0 4 を設けずに、熱処理を行うようにしてもよい。

前記の実施の形態では、赤外線導入加熱装置 2 2 0 からの赤外線ビームを用いて、BiYIG 薄膜 3 0 7 の結晶化熱処理を行う場合を例にしたが、これに代えて、図 1 1 に示すように、レーザ光を用いてBiYIG 薄膜 3 0 7 の結晶化熱処理を行うようにしてもよい(便宜上、第 2 実施の形態という。)

【 0 0 5 3 】

この第 2 実施形態では、基板 2 0 3 が $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ の成膜された面を上にして基板ホルダ 2 0 1 上にセットされ、レーザ光源 2 3 1 からのレーザ光を $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ に照射して、BiYIG 薄膜 3 0 7 を結晶化する。

また、レーザ光を間欠的に照射する(パルス加熱する)ようになることにより、BiYIG 薄膜 3 0 7 の結晶化をより精度高いものにすることができる。

【 0 0 5 4 】

この第 2 実施の形態では、前述の第 1 実施の形態(図 9)で必要とされていた冷却機構 2 2 2 及び冷却処理が不要となり、その分、構成が容易になると共に冷却操作が無くなって生産性の向上を図ることができる。

上記の 2 つの実施の形態で得られる磁気光学体 3 0 0 は上述したように大きなファラデー効果を有しており、光アイソレータなど種々の光デバイスに用いて良好な機能を発揮することができる。

【 0 0 5 5 】

本実施の形態（第 1 実施の形態及び第 2 実施の形態）では、異なる光学特性を有する複数種類の誘電体素材がその厚さに規則性を持って交互に積層された 2 つの誘電体多層膜と、該 2 つの該誘電体多層膜の間に設ける磁性体膜とを有する磁気光学体 3 0 0 を対象にして、その熱処理方法を例にしたが、これに限らず、誘電体はその厚さに規則性をもって交互に積層された 2 つの規則積層部を備え、前記誘電体は異なる光学特性を有する複数種類の誘電体素材がその厚さに規則性をもって交互に積層した周期構造を有した誘電体多層膜からなり、前記 2 つの規則積層部の間に希土類鉄ガーネットの磁性体膜を設けるようにして構成された磁気光学体に、本実施形態（第 1 実施の形態及び第 2 実施の形態）に示される熱処理（ひいては製造方法）を適用してもよい。この場合にも、誘電体の周期構造を乱すことなく前記希土類鉄ガーネットの磁性体膜が結晶化されたことになる。

【 0 0 5 6 】

本実施の形態（第 1 実施の形態及び第 2 実施の形態）において、BiYIG 薄膜 3 0 7 を用いた場合を例にしたが、本発明はこれに限らず、他の希土類鉄ガーネット薄膜を用いるようにしてもよい。

【 0 0 5 7 】

前記磁気光学体を用いて、図 1 2 に示すように光アイソレータ（第 3 実施の形態）を構成することができる。

図 1 2 に示す光アイソレータは、偏光子 3 2 A 及び検光子 3 2 B と、偏光子 3 2 A 及び検光子 3 2 B の間に設けられ光の偏光面を 4 5 度回転させる磁気光学体 3 0 0 （ファラデー回転子、磁気光学素子）と、磁場を印加するために用いるための永久磁石 3 3 とから大略構成されている。

【 0 0 5 8 】

この第 3 実施の形態では、磁気光学体 3 0 0 が、上述したように、2 種類の誘電体薄膜〔Si 膜 3 2 0（図 1 参照）、SiO₂ 膜 3 2 1（図 1 参照）〕の屈折率の差を大きくとることにより、屈折率が相異なる誘電体（誘電体多層膜 3 1 0，3 1 1）を反射層に用いており、高い共振 Q（共振程度）を有しているので、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができ、ひいて

は少ない誘電体薄膜の積層数で大きなファラデー回転角を得ている。

【0059】

そして、磁気光学体 300 について、大きなファラデー回転角を得る上で、誘電体薄膜の積層数を少なくできることにより、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができることから、磁気光学体 300 を用いた第 3 実施の形態の光アイソレータ（図 12）は、その特性や製造歩留まりの向上を図ること出来る。

【0060】

【発明の効果】

請求項 1 から請求項 3 までのいずれかに記載の発明によれば、2 種類の誘電体薄膜は、一方の誘電体薄膜の光屈折率の値が、他方の誘電体薄膜の光屈折率の値と異なり、屈折率が相異なる 2 つの誘電体多層膜を構成可能であり、これにより、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができ、ひいては少ない誘電体薄膜の積層数で大きなファラデー回転角を得ることができる。このため、誘電体薄膜の積層数を少なくできる分、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールが比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができる。

【0061】

請求項 4 記載の発明によれば、磁気光学体が、誘電体薄膜の積層数を少なくできることにより、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができることから、この磁気光学体を用いた光アイソレータについて、その特性や製造歩留まりの向上を図ること出来る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施の形態の磁気光学体を模式的に示す断面図である。

【図 2】

本発明の磁気光学体における透過波長スペクトル及びファラデー回転角を示す特性図である。

【図 3】

磁性体薄膜への入射の特性を示す図である。

【図 4】

磁性体薄膜の屈折率を示すための表形式で示した図である。

【図 5】

光結晶のフォトリックバンドギャップを示すための図である。

【図 6】

磁気光学体の定在波の様子を示す図である。

【図 7】

強い局在化が生じた波長と透過率との関係を示す図である。

【図 8】

図 1 の磁気光学体の製造方法を示す図である。

【図 9】

図 8 の製造方法における各部材のセット状態及び赤外線導入加速装置を示す図である。

【図 1 0】

図 8 の製造方法における熱処理パターンを示す図である。

【図 1 1】

本発明の第 2 実施の形態を説明するための図である。

【図 1 2】

本発明の第 3 実施の形態に係る光アイソレータを示す図である。

【図 1 3】

従来の光アイソレータの一例を示す図である。

【図 1 4】

光アイソレータの動作原理を示す図である。

【図 1 5】

従来の磁気光学薄膜の構造を模式的に示す断面図である。

【図 1 6】

磁気光学体の光透過率とファラデー回転角を示す図である。

【符号の説明】

3 0 0 磁気光学体

3 0 7 磁性体薄膜

3 1 0, 3 1 1 誘電体多層膜

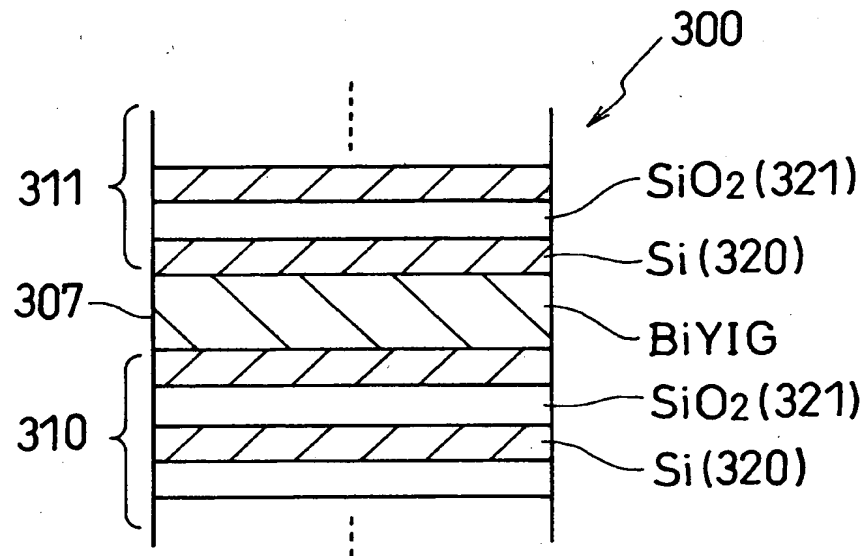
3 2 0 Si膜（一方の誘電体薄膜）

3 2 1 SiO₂膜（他方の誘電体薄膜）

【書類名】

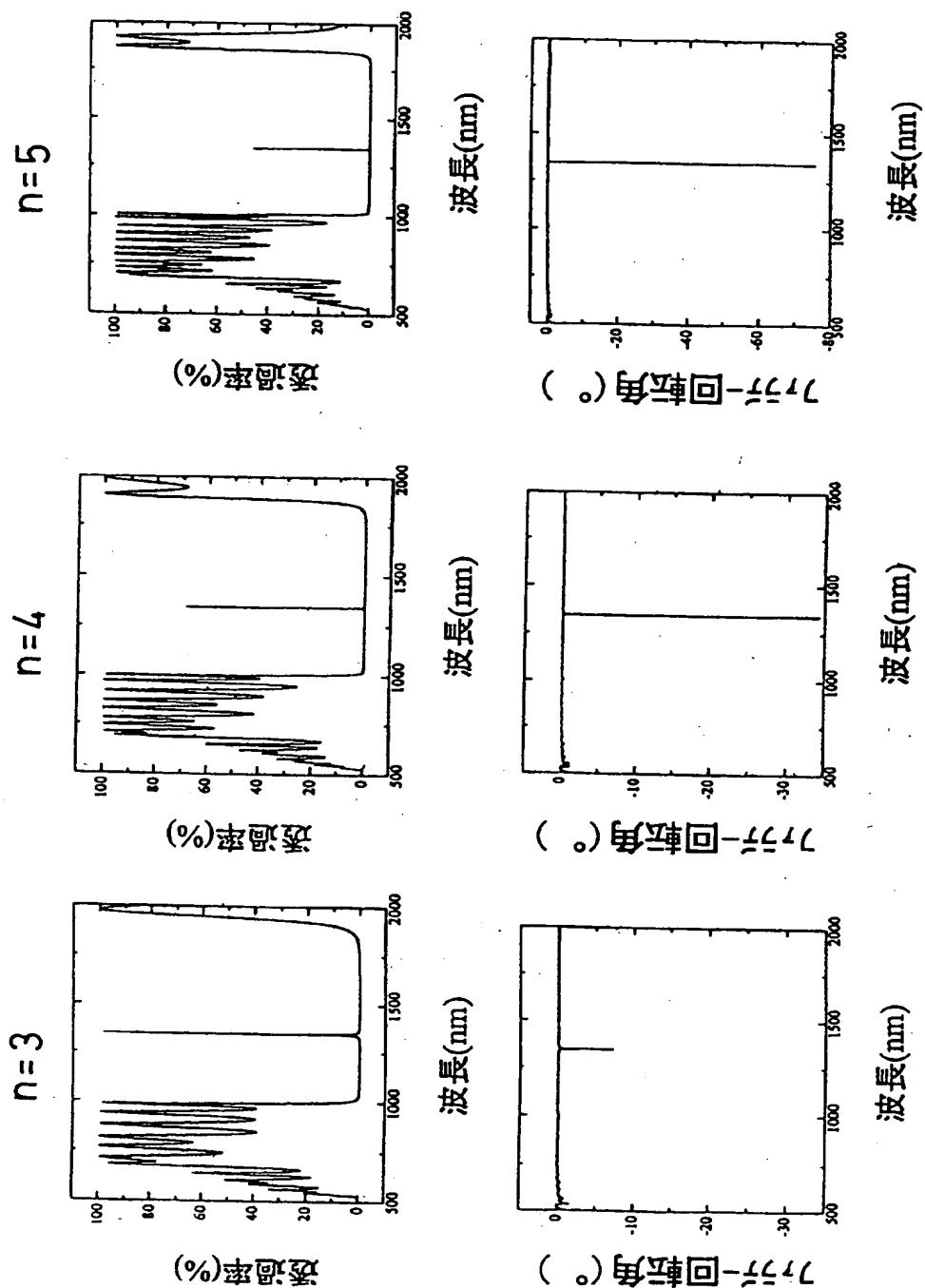
図面

【図 1】

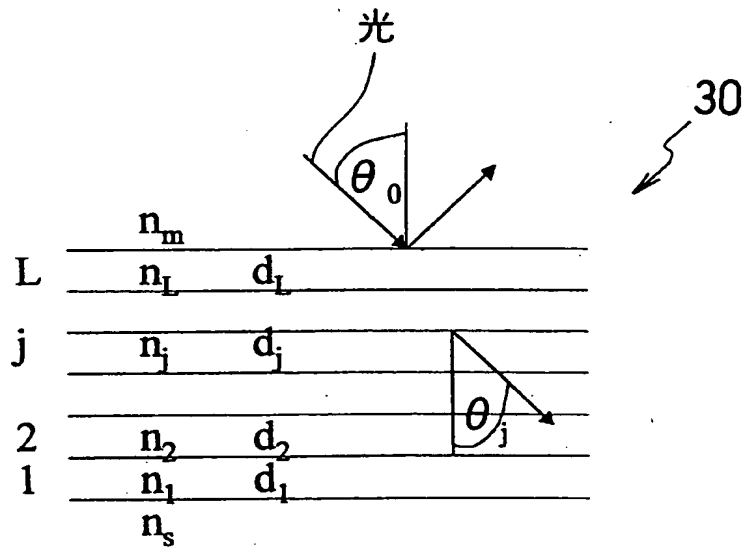


【図2】

(HL)ⁿ2M(LH)ⁿ/1737 (中心1300nm)



【図 3】

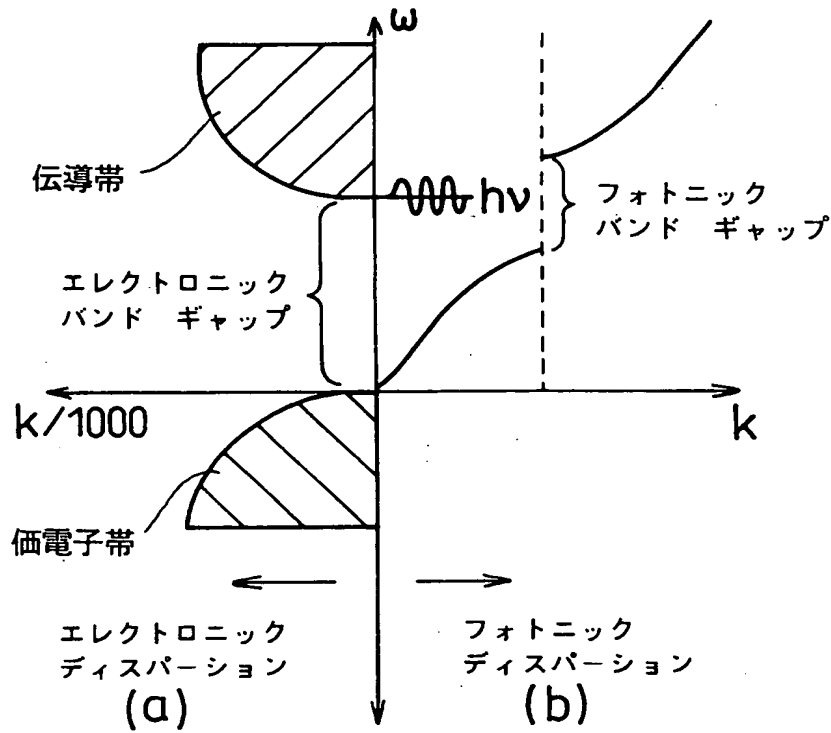


【図 4】

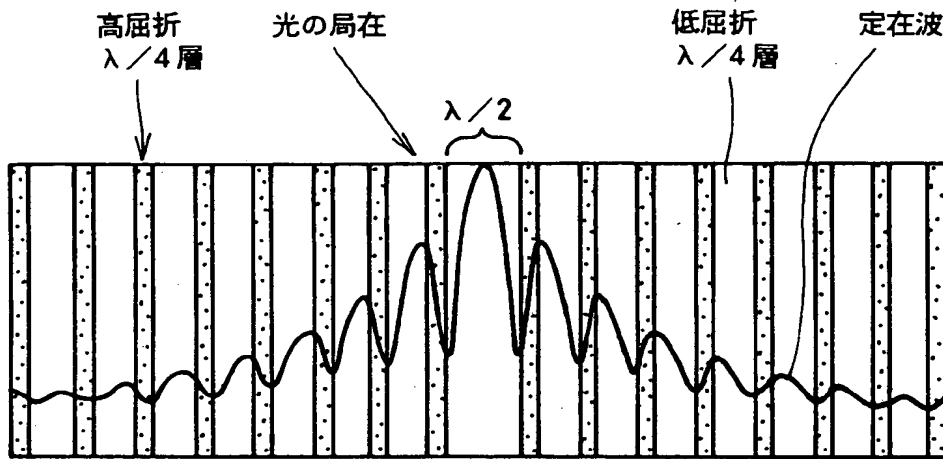
表 1

	低屈折率層の 屈折率	高屈折率層の 屈折率	磁性体薄膜が高 屈折率の場合の 磁性体薄膜の実 効屈折率	磁性体薄膜が低 屈折率の場合の 磁性体薄膜の実 効屈折率
例 1	1.415	2.35	1.823527	1.622657
例 2	1.415	3.11	2.097773	1.631698

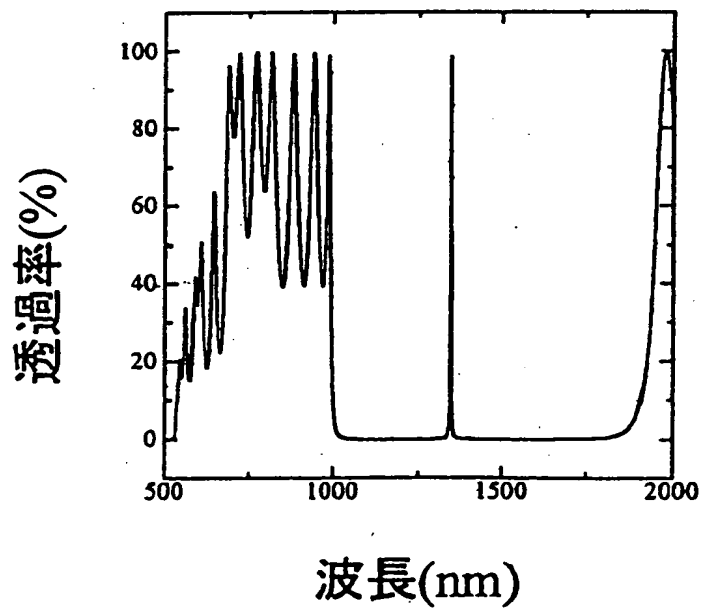
【図 5】



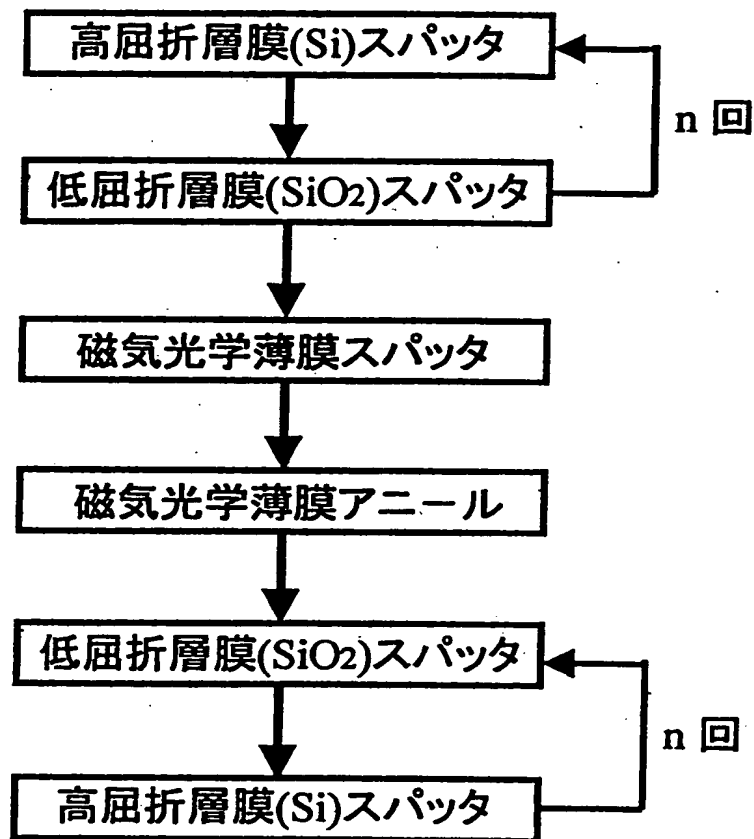
【図 6】



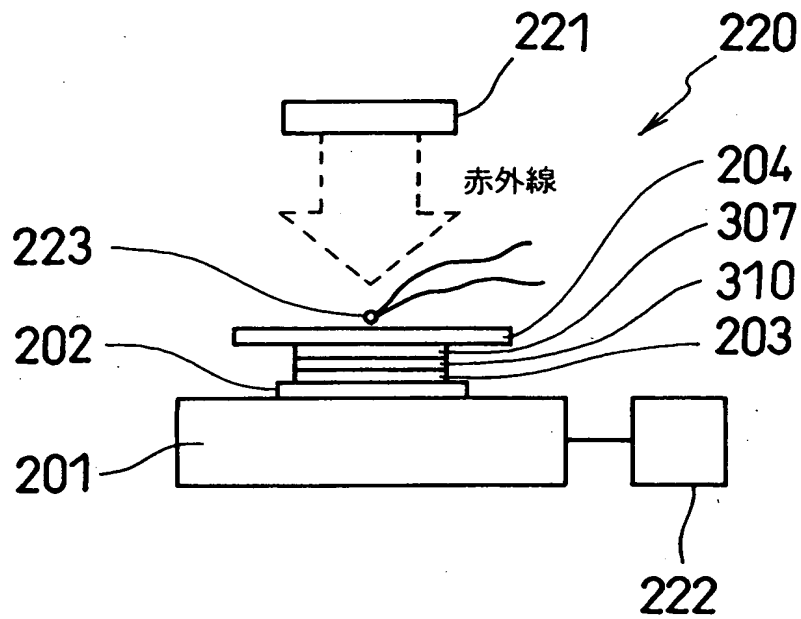
【図 7】



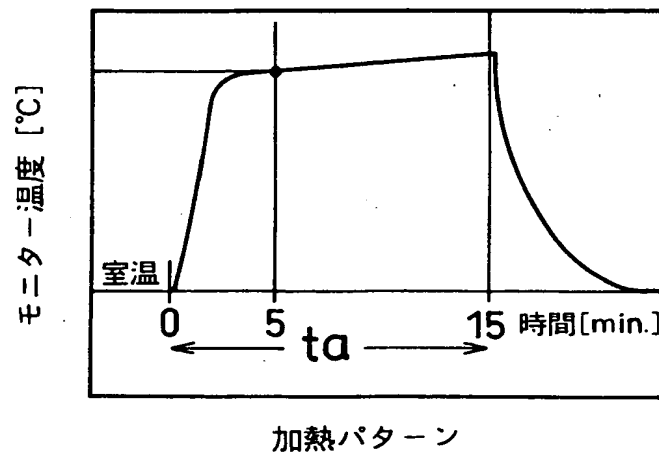
【図 8】



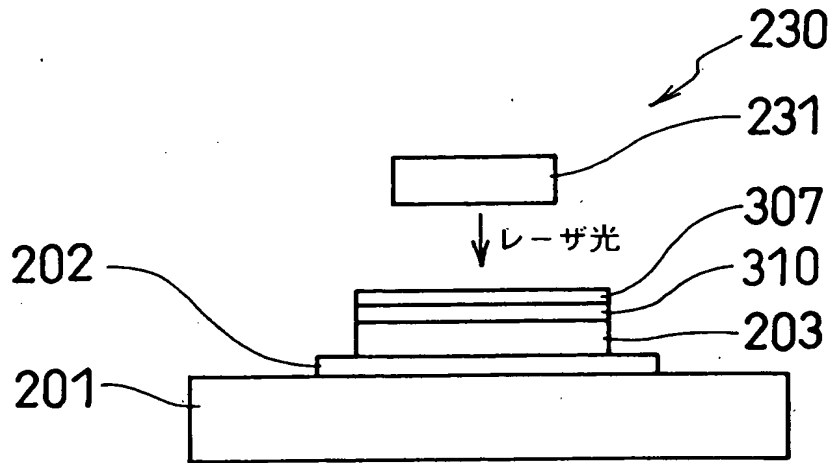
【図 9】



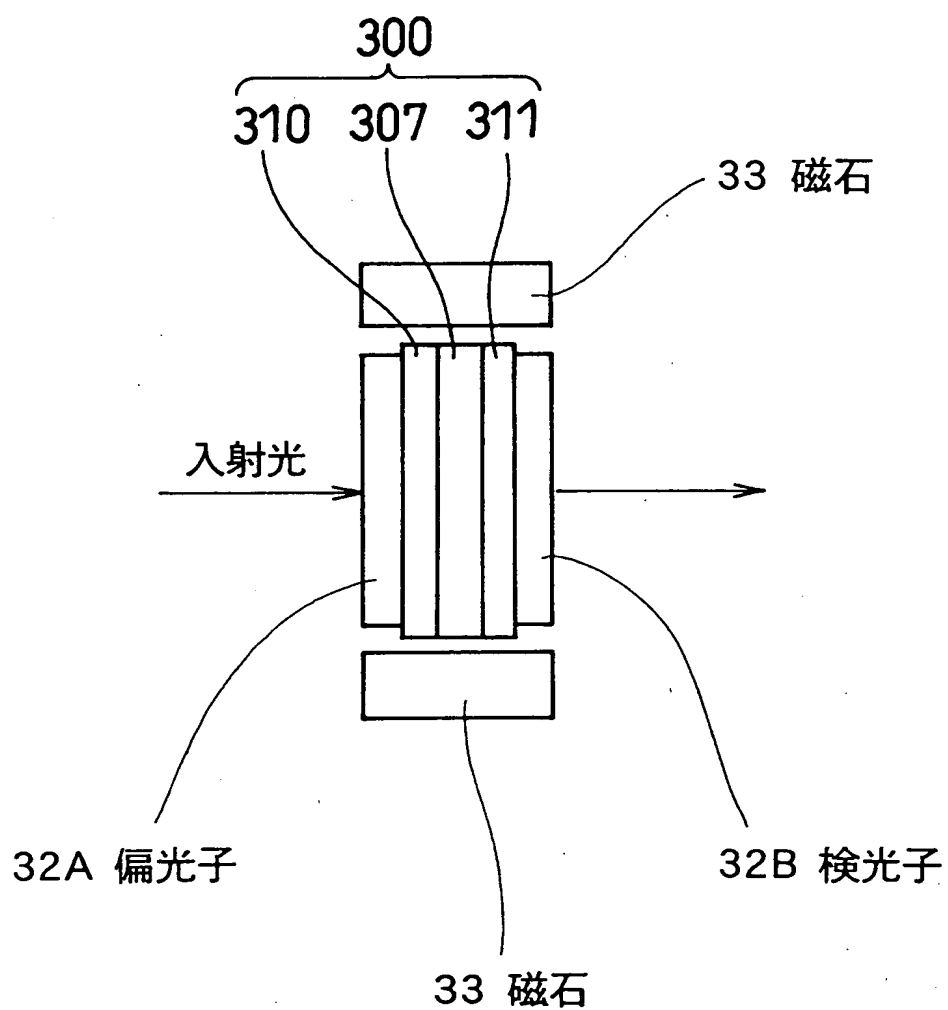
【図 10】



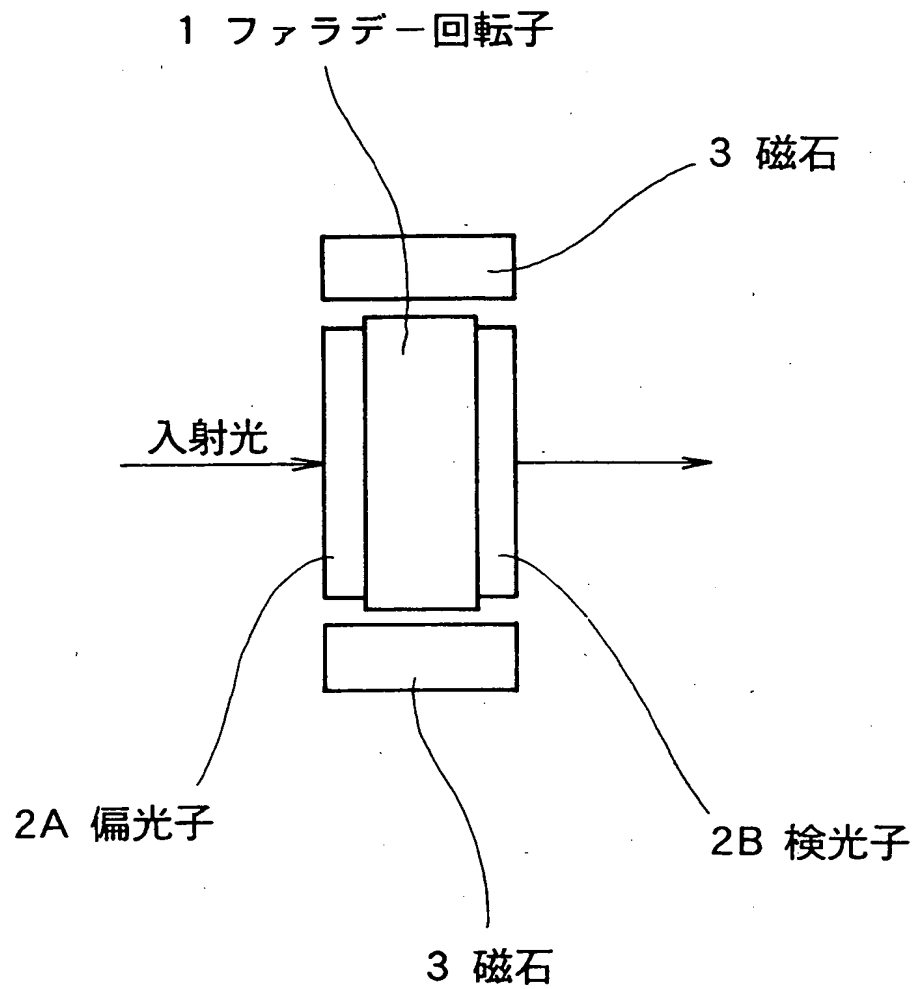
【図 1 1】



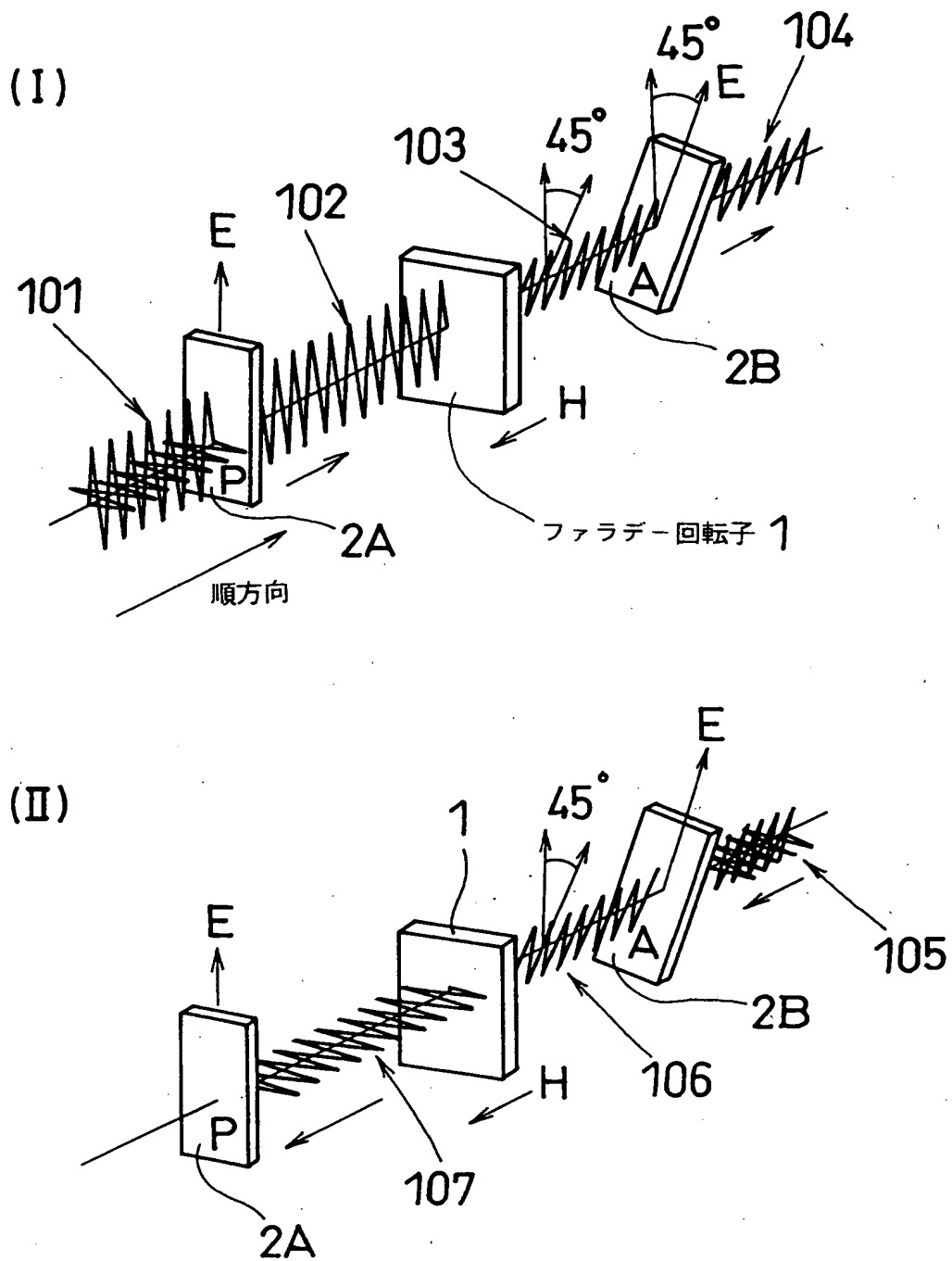
【図 1 2】



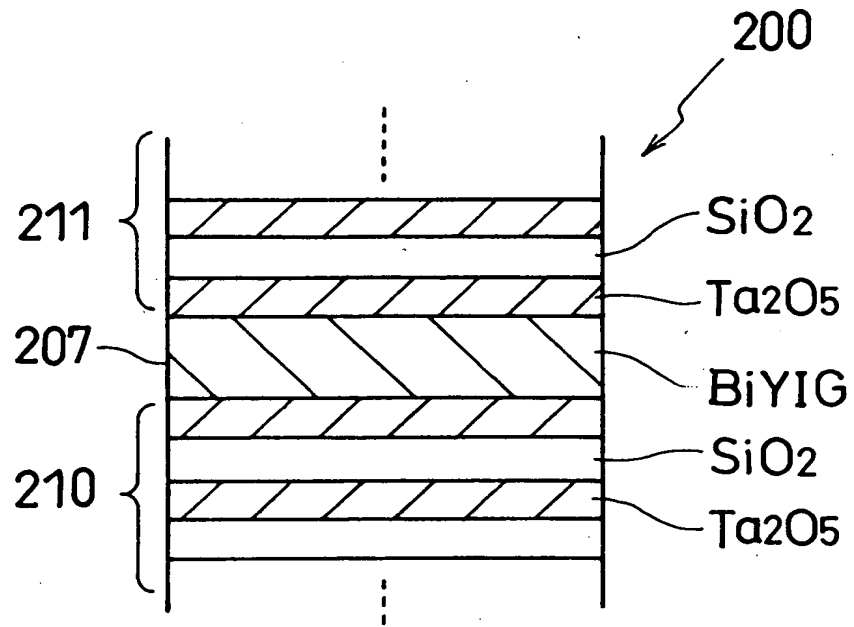
【図 1 3】



【図14】

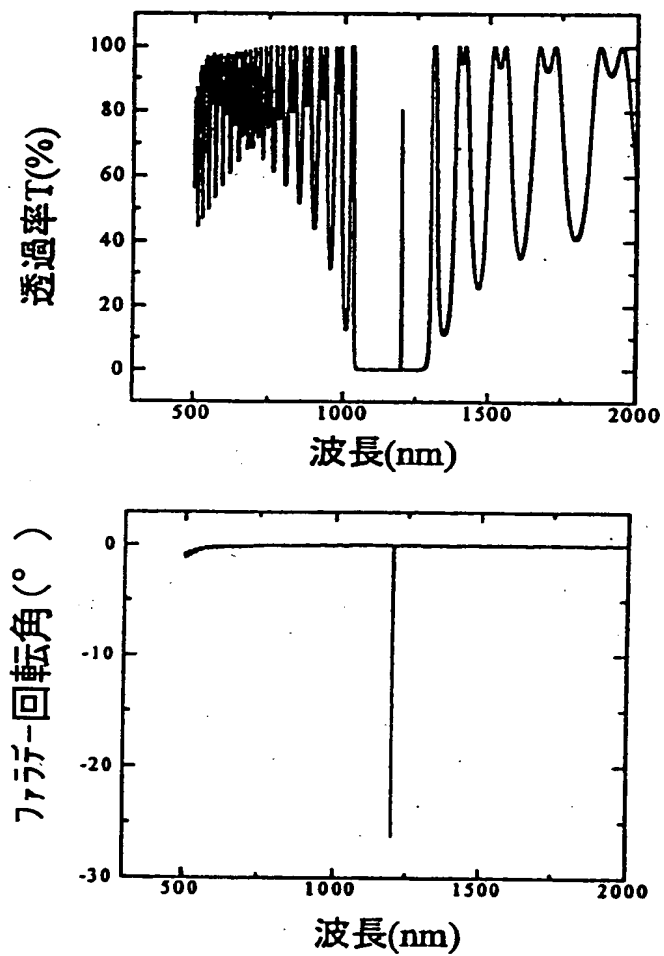


【図 1 5】



【図 1 6】

膜構造: $(HL)^{12}H_2MH(LH)^{12}$



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 製造コスト及び製造歩留まりの向上を図ることができる磁気光学体及びこの磁気光学体を用いた光アイソレータを提供する。

【解決手段】 磁気光学体 3 0 0 は、磁性体薄膜 3 0 7 の両側に設ける反射層について、屈折率 $M_s = 3.11$ の Si 膜 3 2 0 と屈折率 $M_t = 1.415$ の SiO_2 膜 3 2 1 との n 層の積層膜からなる誘電体多層膜 3 1 0, 3 1 1 により構成した。屈折率が相異なる誘電体多層膜 3 1 0, 3 1 1 を反射層に用いていることで、高い共振 Q (共振程度) を有することになり、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができ、少ない誘電体薄膜の積層数で大きなファラデー回転角を得ている。製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000114215]

1. 変更年月日 1990年 8月23日

[変更理由] 新規登録

住 所 長野県北佐久郡御代田町大字御代田4106-73

氏 名 ミネベア株式会社